



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 198 21 492 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶
G 01 R 15/20

⑳ Aktenzeichen: 198 21 492.8
㉔ Anmeldetag: 14. 5. 98
㉕ Offenlegungstag: 25. 11. 99

DE 198 21 492 A 1

㉑ Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:
Fischer, Roland, Dipl.-Phys., 61130 Nidderau, DE;
Schulz, Thomas, Dipl.-Ing., 72669 Unterensingen,
DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 31 47 715 A1
US 29 88 707
EP 00 82 082 B1
EP 05 78 948 A1
EP 03 59 886 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur berührungslosen Messung eines einen Leiter durchfließenden Stromes mittels eines Hallsensors sowie Hallsensoranordnung

⑤⑦ Die berührungslose Strommessung mittels eines Hallsensors weist eine sehr niedrige Hallspannungsamplitude und eine Störanfälligkeit gegen elektromagnetische Fremdkörper auf.

Indem der Leiter den Hallsensor zumindest teilweise umschließt, wird die Länge der wirksamen Leitungsabschnitte verlängert und die Signalamplitude erhöht. Durch zwei Hallsensoren, die beabstandet voneinander an jeweils einem Ende eines im Leiter senkrecht zum Stromfluß befindlichen Langloches angeordnet sind und die so beschaltet sind, daß als Signalgröße die Differenz der Hallspannungen dieser zwei Hallsensoren erfaßt wird, kann zudem die Signalamplitude nochmals vergrößert und frei von Fremdfeldeinflüssen gestaltet werden.

Verwendung in Batteriekurzschlußabsicherungssystemen von Kraftfahrzeugen.

DE 198 21 492 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen Messung eines einen Leiter durchfließenden Stromes mittels eines im elektromagnetischen Feld des Leiters befindlichen Hallsensors gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie eine Hallsensoranordnung gemäß Anspruch 7.

Aus den physikalischen Grundlagen stromdurchflossener Leiter ist die Entstehung eines zum Strom proportionalen elektromagnetischen Feldes um diese bereits auch zur berührungslosen Strommessung bekannt, indem ein Hallsensor als ein auf das elektromagnetische Feld sensitives Bauelement in der Nähe des Leiters im elektromagnetischen Feld ausgerichtet angeordnet wird. Die Feldstärke nimmt bei kreisförmigen Leiterquerschnitten immer, bei beliebig geformten Leitern ab einer gewissen Entfernung mit dem Abstand R vom Leiter proportional $1/R$ ab.

Die damit am Hallsensor meßbare Signalamplitude ist recht gering. Zur Verstärkung des elektromagnetischen Feldes werden dabei ferromagnetische Körper zur Konzentration des elektromagnetischen Feldes genutzt. Die Signale des Hallsensors müssen dennoch nicht unerheblich verstärkt werden und sind dabei stark anfällig für elektromagnetische Fremdfelder, bspw. durch benachbarte stromdurchflossene Leiter oder durch Funksignale u.ä. .

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verfahren zur berührungslosen Strommessung mittels eines Hallsensors anzugeben, mit dem auf möglichst einfache Weise höhere Signalamplituden erzielt werden können. Außerdem soll die Störanfälligkeit durch Fremdfelder verringert werden. Des weiteren soll eine besonders bevorzugte Hallsensoranordnung angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 sowie durch Anspruch 7 für die Hallsensoranordnung gelöst.

Grundansatz der Erfindung ist, die auf den einen Hallsensor (oder in der bevorzugten Weiterbildung auf die zwei Hallsensoren) effektiv wirkende Leiterlänge zu erhöhen, indem der Leiter den Hallsensor nach dem Prinzip einer Spule zumindest teilweise umschließt. Die einzelnen Leiterabschnitte bilden jeweils elektromagnetische Feldanteile, welche sich in der Mitte additiv überlagern. Ein dort angeordneter Hallsensor kann folglich ein deutlich stärkeres, idealisierter Weise fast dreifach so starkes elektromagnetisches Feld messen.

Die U-Form eines Leiters läßt sich durch Biegen eines Leiterkabels oder durch Ausstanzen aus einem Leiterblech sehr leicht erzeugen.

Im Gegensatz zu der U-Form weist ein Langloch eine deutlich höhere mechanische Stabilität auf. Da der Leiter beidseitig des Langloches von parallel zueinander gerichteten Stromanteilen durchflossen wird, wechseln hierbei die Richtungen der jeweiligen elektromagnetischen Felder innerhalb des Langloches. Dies führt aufgrund der stark vom Abstand abhängigen Feldamplitude bei einem genügend großen Langloch zu keiner nennenswerten Schwächung des Feldes am Ende des Langloches, wo sich der Hallsensor befindet.

Besonders bevorzugt ist die Ausgestaltung als verfahren jedoch mit zwei Hallsensoren, die an den entgegengesetzten Enden des Langloches im Leiter angeordnet sind. Hierbei werden die zwei entgegengesetzt gerichteten elektromagnetischen Felder im Inneren des Langloches jeweils an ihrer stärksten Stelle gemessen. Dabei erweist es sich als äußerst vorteilhaft, die Differenz der zwei von den Hallsensoren gemessenen Signale auszuwerten, da aufgrund der entgegengesetzten Ausrichtung der Feldes es so zu einem betragsmäßig nochmals doppelt so großen, als gegenüber herkömmli-

chen Meßverfahren fast sechsfach höheren zum fließenden Strom proportionalen Signal kommt. Wesentlicher Vorteil dieser Differenzmethode ist auch deren verbesserte Störsicherheit gegen Fremdfelder, da diese im Gegensatz zum Figurenfeld der stromdurchflossenen Leiter im Innenbereich des Langloches annähernd konstant sind, da deren Abstand im Verhältnis zur Länge des Langloches meist relativ groß und die relative Feldänderung somit relativ klein ist.

Eine solche Hallsensoranordnung für ein Langloch, bestehend aus zwei voneinander beabstandeten Hallsensoren, läßt sich sehr einfach herstellen und einfach montieren. Beide Hallsensoren können in Serie zueinander von einem Betriebsstrom gespeist werden, wobei der Strom diese zwei Sensoren antiparallel durchfließt, also einmal in die Richtung des Stromes in dem Leiter, einmal entgegen, so daß hierdurch das Vorzeichen geändert, also die Differenz beider Signalanteile bewirkt wird und die Hallspannung an denjenigen Abgriffen der Hallsensoren erfaßt wird, die bezüglich des Langloches außen liegen, während die innen liegenden Abgriffe der Hallsensoren miteinander verbunden sind.

Durch ferromagnetische Körper als Feldkonzentratoren zumindest im Bereich der Hallsensoren kann die Feldstärke weiter erhöht werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Figuren:

Fig. 1 Berührungslose Strommeßanordnung mit einem einen Hallsensor U-förmig umschließend gebogenen Leiterkabel

Fig. 2 U-förmig mittels Einschnitten strukturiertes Leiterblech mit Hallsensor

Fig. 3 Hallspannungsverlauf bei lateraler Verschiebung des Hallsensors gemäß Fig. 2

Fig. 4 Vergrößerung des Optimumsbereichs der Fig. 3 zur Darstellung der geringen Empfindlichkeit gegen leichte Fertigungstoleranzen

Fig. 5 Leiterblech mit Langloch und zwei Hallsensoren

Fig. 6 Hallspannungsverlauf bei lateraler Verschiebung eines Hallsensors entlang des Langloches gemäß Fig. 5

Fig. 7 linearer Differenzsignalverlauf der Hallspannungen der zwei Hallsensoren in Abhängigkeit vom Strom

Fig. 8 Hallsensoranordnung mit zwei in den beiden Enden eines Langloches anzuordnenden, elektrisch seriell geschalteten Hallsensoren und einem ferromagnetischen Körper zur Feldverstärkung

Fig. 9 Darstellung der geringen Empfindlichkeit gegen leichte Fertigungstoleranzen bei einer Hallsensoranordnung gemäß Fig. 8

Fig. 10 Vergleich der verschiedenen Strommeßanordnungen untereinander.

Die Fig. 1 zeigt ein vom Strom I durchflossenes Leiterkabel 1a, welches U-förmig um einen Hallsensor 2 geformt ist. Dabei entstehen drei Leiterabschnitte 1.1, 1.2, 1.3, deren jeweilige elektromagnetische Feldanteile $\Phi 1$, $\Phi 2$, $\Phi 3$ sich in der Mitte additiv überlagern. Die am Hallsensor 2 abgreifbare Hallspannung ist zum Strom I im Leiter 1a proportional. Der Hallsensor 2 wird dabei von einer nicht näher gezeigten Konstantstromquelle betrieben. Bei einem Stromfluß von ca. 40 A im Leiter können bei einem guten Hallsensor bei dieser Anordnung Hallspannungen von über 100 mV erreicht werden, während der gleiche Hallsensor bei dem gleichen Leiterquerschnitt in gerader Form maximal ca. 30 mV erreicht.

Die Fig. 2 zeigt ein Leiterblech 1b, welches durch drei Einschnitte 3, 4, 5 zu einer U-Form mit wiederum drei Leiterabschnitten 1.1, 1.2, 1.3 gestaltet wird. Im mittleren Einschnitt 4 befindet sich wieder der Hallsensor 2, während die äußeren Einschnitte 3 und 5 möglichst lange Leiterab-

schnitte 1.1 und 1.3 mit konstanter Stromdichte formen. Hierbei ist der elektrische Widerstand möglichst gering zu halten, um die Wirkungsgradverluste zu minimieren. Wie die Fig. 1 und 2 bereits deutlich machen, sind für nahezu alle möglichen Leiterformen derartige teilweise Umschließungen eines Hallsensors möglich. Selbstverständlich wirken grundsätzlich V-förmige Umschließungen entsprechend dem Grundprinzip der Erfindung, wenn auch nicht so gut wie U-förmige, da durch die V-Form quasi nur zwei statt bei der U-Form drei Leiterabschnitte wirken.

Die Auswirkung der in Fig. 2 eingezeichneten X-Verschiebung des Hallsensors 2 wird in Fig. 3 dargestellt. Hierbei ist deutlich zu erkennen, daß genau am inneren Ende des mittleren Einschnittes 4 die elektromagnetische Feldstärke B und damit auch die Hallspannung U_{Hall} am größten ist. Außerhalb des stromdurchflossenen Leiters 1 ändert sich selbstverständlich das Vorzeichen des elektromagnetischen Feldes. Die Vergrößerung der Darstellung von Fig. 3 in Fig. 4 zeigt, daß im Nahbereich ($\pm 0,4 \text{ mm}$) des Optimums ($x=0$), also am inneren Ende des mittleren Einschnittes 4 die Hallspannung U_{Hall} nur relativ gering abnimmt und somit dieses Verfahren im Rahmen üblicher Fertigungstoleranzen nur gering beeinflußt wird.

Fig. 5 zeigt nun eine Leiteranordnung 1c, die in Form eines Langloches 6 senkrecht zur Stromflußrichtung (angedeutet durch die Pfeile) aufgeteilt wird. Die Stromanteile $1/2$ verlaufen in den zwei Leitungsabschnitten parallel zueinander. Es wirken dabei aber auf das jeweilige Ende des Langloches in Analogie zur Ausgestaltung gemäß der Fig. 1 und 2 auch die jeweiligen parallel zur Längsachse des Langloches befindlichen Leitungsabschnitte. Durch die Einschnitte muß der wirksame Leiterquerschnitt nicht herabgesetzt werden, wenn die so geformten Leiterabschnitte entsprechend dicker gestaltet werden. Die Dicke bzw. der Querschnitt der Leiter ist prinzipiell für die Messung nicht relevant sondern beeinflußt einzig den elektrischen Widerstand und damit die Verlustleistung. Um eine Erhitzung des Leiters in dem U-förmigen Leiterabschnitt bzw. um das Langloch herum zu vermeiden empfiehlt es sich also, den Querschnitt oder auch das dort verwendete Material entsprechend niederohmig auszu-

legen. In Fig. 6 wird wieder die Veränderung der Hallspannung U_{Hall} über die in Fig. 5 skizzierte X-Verschiebung dargestellt. Es wird hierbei deutlich, daß die beiden elektromagnetischen Felder einander entgegengesetzt gerichtet sind, sich innerhalb des Langloches zum Teil überlagern und an den beiden Enden des Langloches jeweils ihr Maximum erreichen. Durch die zwei an den beiden Enden des Langloches beabstandet voneinander angeordneten Hallsensoren 2.1 und 2.2 werden diese Maxima erfaßt. Bildet man die Differenz aus deren beider Hallspannung $\Delta U_{\text{Hall}} = U_{\text{Hall}}(2.1) - U_{\text{Hall}}(2.2)$, die ja unterschiedliches Vorzeichen aufweisen, erhält man eine betragsmäßig doppelt so große, vom Strom proportional abhängige Signalgröße, wie dies in Fig. 7 dargestellt ist. Der besondere Vorteil ist hierbei, daß Fremdfelder mit geringer relativer Feldstärkeänderung, also entferntere Felder, unabhängig von ihrer absoluten Feldstärke keinen Einfluß auf die Signalgröße haben.

Fig. 8 zeigt eine Hallsensoranordnung, wie sie zur berührungslosen Strommessung im Sicherungsbereich von Autobatterien eingesetzt werden wird. Die Beschaltung ist schematisch skizziert.

Es wird eine Leiteranordnung 1c mit einem Langloch verwendet, in welches die Hallsensoranordnung eingesetzt wird. Ein Langloch läßt sich selbstverständlich auch durch zwei parallel geschaltete und im Bereich des Langloches entsprechend aufgespreizte Flachbandleiter realisieren. Die Hallsensoranordnung gemäß Fig. 8 weist zwei Hallsensoren 2.1

und 2.2 auf, die jeweils bezüglich der beiden Enden des Langloches 6 voneinander beabstandet angeordnet sind. Die Hallsensoren 2.1 und 2.2 werden von einem gemeinsamen Betriebsstrom I_{const} betrieben, der den ersten Hallsensor 2.1 in Richtung des Stromes in dem benachbarten Leitungsabschnitt, den zweiten Hallsensor 2.2 entgegengesetzt durchfließt. Die Hallspannungsdifferenz ΔU_{Hall} wird an denjenigen Abgriffen der Hallsensoren erfaßt, die bezüglich des Langloches 6 außen liegen, während die innen liegenden Abgriffe der Hallsensoren 2.1 und 2.2 miteinander verbunden sind. Die Hallsensoranordnung weist zumindest einseitig, vorzugsweise ringförmig um die Leiter herum ferromagnetische Körper 10, im einfachsten Fall aus Eisen, zur Konzentration der Feldlinien zumindest im Bereich der Hallsensoren auf. Die einseitige Ausgestaltung der Hallsensoranordnung ermöglicht eine sehr einfache Montage mittels Einschiebens in das Langloch. Selbstverständlich sind auch beidseitige Ausgestaltungen denkbar.

Fig. 9 zeigt die relative Unempfindlichkeit gegen Montagetoleranzen auch für diese Hallsensoranordnung gemäß Fig. 8.

Fig. 10 ermöglicht den Vergleich der Hallspannungskennlinien für verschiedene Hallsensoren und deren Anordnungen. Während im Funktion f1 der Hallsensor noch im geraden Teil außerhalb der U-förmigen Ausgestaltung angeordnet ist und somit auch bei einem Strom von 40 A nur Hallspannungen von max. 30 mV erzielt, weist der gleiche Hallsensor innerhalb des U-förmigen Einschnittes einen deutlich steileren Verlauf und eine Hallspannung von über 100 mV bei 40 A auf (vgl. f2). Durch höherwertige Hallsensoren kann dieser Wert gemäß Funktion f3 noch verbessert werden. Von ganz besonderer Bedeutung ist selbstverständlich auch die Feldverstärkung mittels eines ferromagnetischen Körpers wie in Funktion f4 dargestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur berührungslosen Messung eines einen Leiter (1) durchfließenden Stromes (I) mittels eines im elektromagnetischen Feld des Leiters befindlichen Hallsensors (2), dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Hallsensor (2) vorgesehen ist und der Leiter (1) wenigstens den einen Hallsensor zumindest teilweise umschließt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (1a, 1b) U-förmig um den Hallsensor (2) geformt ist, wobei der Hallsensor in der U-Form innen angeordnet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (1c) wenigstens den einen Hallsensor (2) beidseitig U-förmig umschließt, dergestalt, daß der Leiter (1c) in Form eines Langloches (6) senkrecht zur Stromflußrichtung aufgeteilt wird und wenigstens der eine Hallsensor (2) innerhalb dieses Langloches (6) an einem Ende angeordnet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Hallsensoren (2.1, 2.2) vorgesehen sind, die an den beiden Enden innerhalb des Langloches (6) beabstandet voneinander angeordnet sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der Ausgangssignale der zwei Hallsensoren ($\Delta U_{\text{Hall}} = U_{\text{Hall}}(2.1) - U_{\text{Hall}}(2.2)$) als die zum Strom (I) proportionale Größe ausgewertet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest im Bereich der/des Hallsensor(en) (2.1, 2.2), vorzugsweise um den Leiter (1) herum, wenigstens ein ferromagnetischer Körper (10) zur Konzentration des elektromagnetischen Feldes vorgesehen ist.

schen Feldes vorgesehen ist.

7. Hallsensoranordnung zur berührungslosen Messung eines einen Leiter durchfließenden Stromes zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Hallsensoren (2.1, 2.2) in Form eines beidseitig vom Leiter (1c) umschlossenen Langloches (6) in beiden Enden beabstandet angeordnet sind und die beiden Hallsensoren (2.1, 2.2) hinsichtlich ihres Betriebsstromes (I_{const}) in Serie zueinander mit antiparalleler Stromdurchflußrichtung geschaltet sind und die Differenzhallspannung (ΔU_{Hall}) an denjenigen Abgriffen der Hallsensoren (2.1, 2.2) erfaßt wird, die bezüglich des Langloches (6) außen liegen, während die innen liegenden Abgriffe der Hallsensoren miteinander verbunden sind.

8. Hallsensoranordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einseitig zumindest im Bereich der Hallsensoren (2.1, 2.2) wenigstens ein ferromagnetischer Körper (10) zur Konzentration des elektromagnetischen Feldes vorgesehen ist.

9. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 sowie der Hallsensoranordnung nach Anspruch 7 und 8 zur berührungslosen Strommessung für Ströme höherer Stromstärke, insbesondere in Batteriekurzschlußabsicherungssystemen von Kraftfahrzeugen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

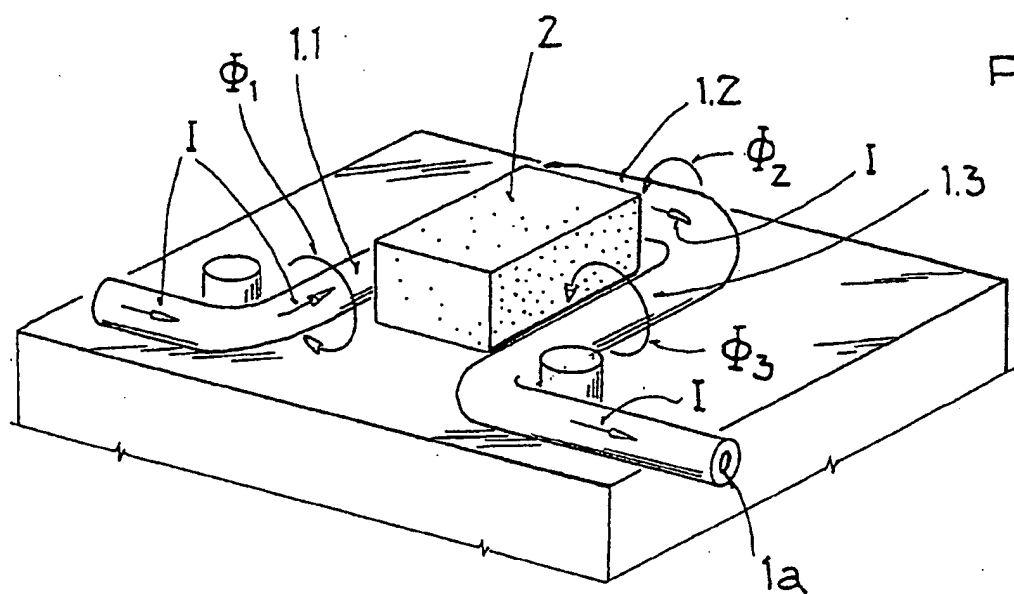


FIG 1

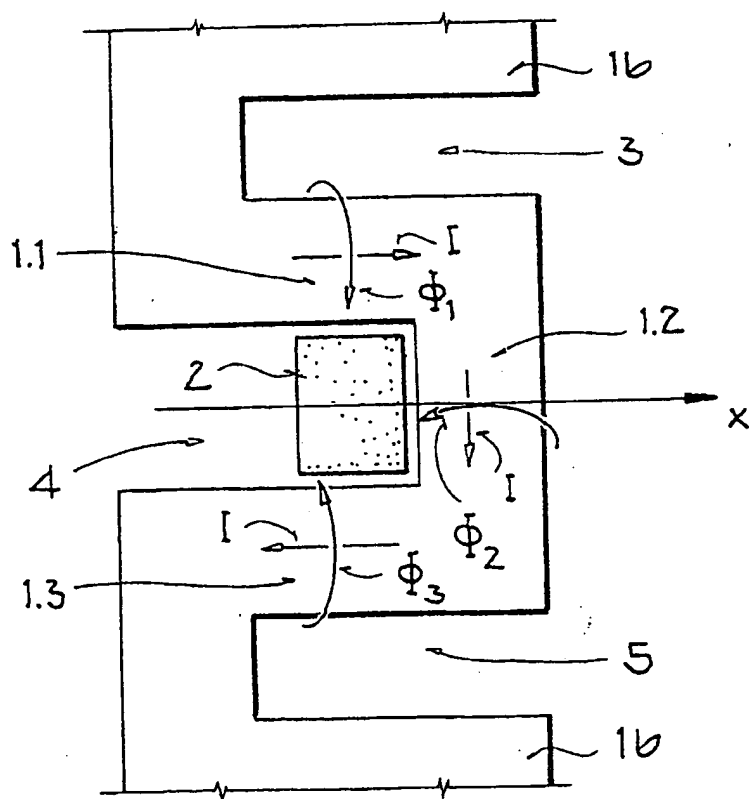


FIG. 2

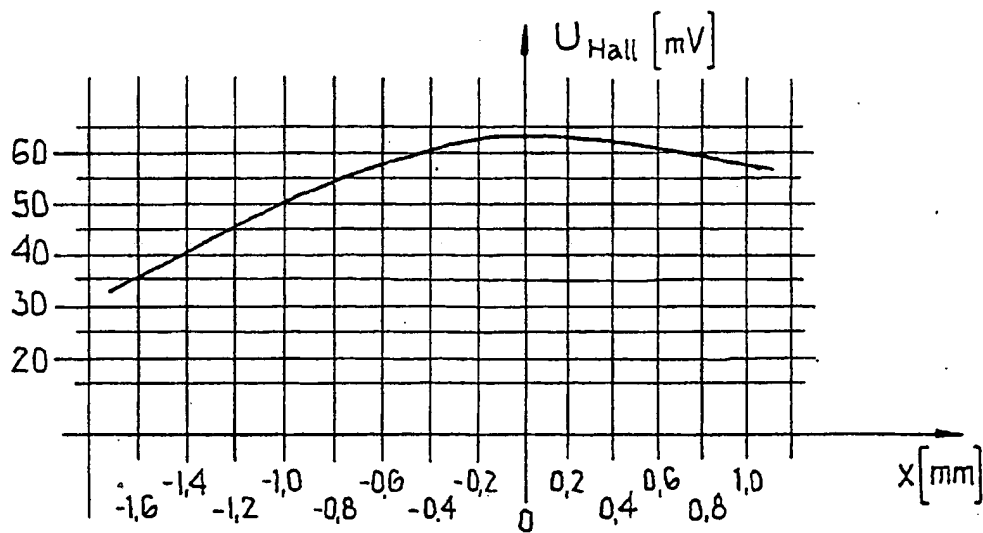
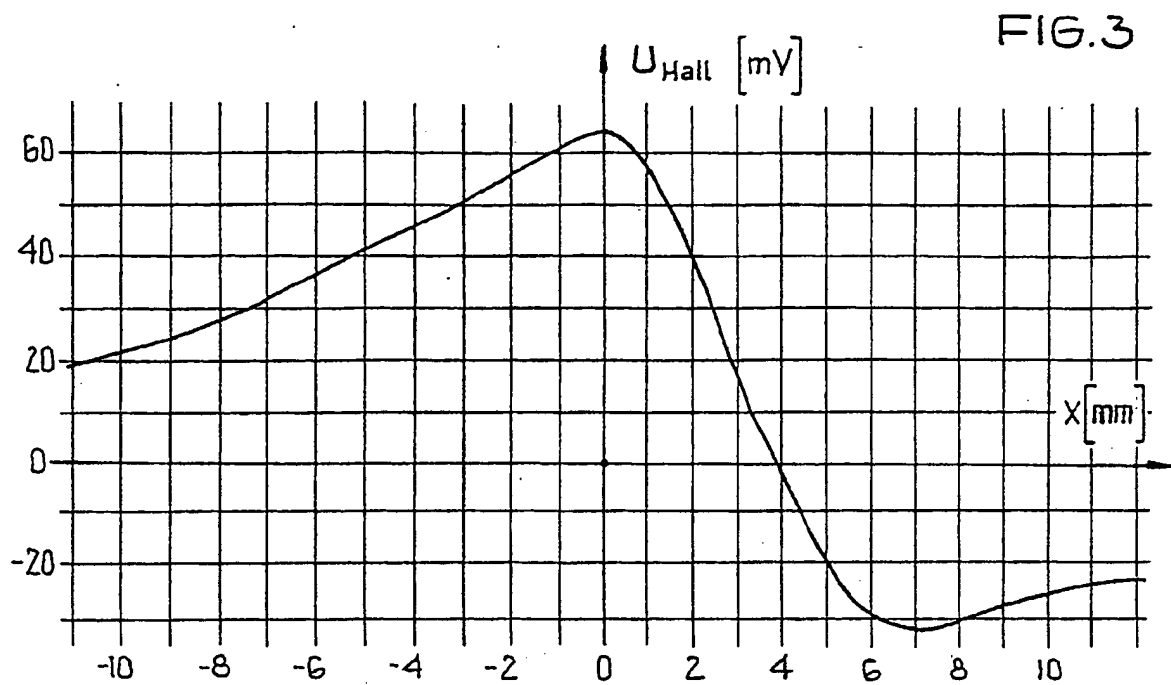


FIG.4

